# 국부 훼손특성을 이용한 적응적 영상복원

김태선[†] · 이태홍[††]

**요 약**

카메라의 렌즈 등 광학장비의 성능 제한으로 인하여 초점이 맞지 않아 흐려지고 잡음으로 훼손된 영상을 복원하는데 일반적으로 반복복원방법이 사용된다. 이 경우에 가속변수는 훼손영상에 관계없이 영상전체에 일률적으로 적용되기 때문에 흐려짐 훼손이 심한 윤곽부분도 훼손이 작은 평면영역과 같이 일정하게 처리되어 수렴속도가 느려지고 시각적으로 중요한 윤곽부분의 복원에는 효율적이지 못하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 흐려짐 훼손이 작은 평면영역은 가속변수를 작게 하고 훼손이 큰 윤곽영역은 가속변수를 크게 하여 영상의 국부적인 훼손특성에 따라 적응적으로 반복 복원하는 방법을 제안하였다. 제안한 복원방법은 기존의 방법과 비교하여 수렴속도가 빨라지고 시각적으로 중요한 윤곽부분의 복원에도 효율적임을 실험결과를 통해 알 수 있었으며, MSE면에서도 우수하였다.

# Adaptive Image Restoration Using Local Characteristics of Degradation

Taesun Kim[†] and Taihong Yi[††]

**ABSTRACT**

To restore image degraded by out-of-focus blur and additive noise, an iterative restoration is used. Acceleration parameter is usually applied equally to all over the image without considering the local characteristics of degraded images. As a result, the conventional methods are not effective in restoring severely degraded edge region and shows slow convergence rate. To solve this problem we propose an adaptive iterative restoration according to local degradation, in which the acceleration parameter has low value in flat region that is less degraded and high value in edge region that is more degraded.

Through experiments, we verified that the proposed method showed better results with fast convergence rate, showed visually better image in edge region and lower MSE than the conventional methods.

## 1. 서 론

영상은 저장, 전송, 처리과정 등 여러 가지 요인에 의해 훼손된다. 특히 영상의 인식이나 컴퓨터 비젼 등에 대한 연구를 수행할 경우 카메라의 렌즈와 같은 광학장비의 성능의 제한으로 인해서 초점이 맞지 않아 생기는 흐려짐 현상이 발생하여 문제가 되고 , 이 과정에서 잡음이 추가되면 영상은 더욱 열화 된다. 이 경우 전처리 과정으로서 영상의 복원이 필요하게 된다.

[†] 정회원, 영남대학교 대학원 전자공학과
[††] 정회원, 嶺南大學校 電氣電子工學部 敎授

영상의 복원은 훼손된 영상을 원래의 영상에 가능한 한 가깝게 만드는 것을 목적으로 하고 있다. 훼손영상을 복원하는 방법들이 여러 가지 제시되었으며 그 중에서 대표적인 방법으로서 역 필터를 이용한 영상복원과 반복복원방법을 들 수 있다. 역 필터를 이용한 방법은 특이점을 갖는 경우 역 행렬이 존재하지 않으며 악조건 문제에 직면 하였을때 해를 구하는 것이 어렵고 잡음이 가산된다면 잡음의 증폭이 발생한다[1]. 따라서 역 행렬을 구할 필요가 없고 전달함수가 특이점을 갖거나 악조건일 경우에도 해를 구할 수 있는 반복복원방법이 제시되었다.

흐려진 영상을 반복 복원하는 방법은 수렴과 수렴

속도를 조절하는 가속변수를 결정하는 방법에 의해 두 가지로 구별할 수 있다. 첫째는, Jacobi방법이나 Gauss-Seidel방법과 같이 반복 처리하는 과정에서 운영자의 판단에 의해 가속변수를 지정하는 방법[3]이고 둘째는, Steepest-Descent방법[4]이나 Conjugate-Gradient방법[5]과 같이 반복 단계마다 가속변수가 자동적으로 결정되는 방법이다. 또한 잡음에 의한 흐려진 영상을 반복 복원하는 방법은 Ichioka가 제시한 기존의 Jacobi방법, Gauss-Seidel방법, Steepest-Descent방법들을 변형한 Reblurring 방법[6,7]과 기존방법에서의 잡음증폭을 억제하기 위해 Biemond 등과 Katsaggelos 등이 기존의 반복처리방법에 정칙화이론을 적용하여 제시한 Tikhonov-Miller 반복복원 방법이 있다[8,9]. 그러나 이러한 방법들은 흐려짐으로 훼손된 영상이 갖는 특징인 분산이 작은 평면영역에서는 훼손오차가 작게 나타나고 분산이 큰 윤곽영역에서는 훼손오차가 크게 나타나는 영상의 국부적인 훼손특성을 고려하지 않고 가속변수를 사용함으로써 특히 훼손오차가 큰 윤곽부분에서의 수렴율도 일정하게 처리되어 전체적으로 수렴속도가 느려지고 시각적으로 중요한 윤곽부분의 복원에 효율적이지 못한 문제점이 있다.

본 논문에서는 영상의 국부적인 훼손특성을 이용한 적응성 가속변수를 윤곽과 평면영역에 적응적으로 적용하는 복원방법을 제안하고자 한다. 이는 훼손오차가 작은 평면영역은 가속변수를 작게 하고 훼손오차가 큰 윤곽영역은 가속변수를 크게 하여 복원함으로써 시각적으로 중요한 윤곽영역에서의 복원을 가속화시켜 전체적인 수렴속도를 증진시키고 윤곽영역에서의 해상도를 향상시키고자 한다. 본 논문에서는 흐려지고 잡음에 의해 훼손된 영상에 제안한 방법을 적용하여 개선 효과를 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 Tikhonov-Miller 반복복원방법에 대한 일반적인 이론을 제시하였고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 국부훼손특성을 이용한 적응적 영상복원 방법을 설명하였으며, 4장에서는 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 실험결과 및 분석을 하고, 5장에서 결론을 맺었다.

## 2. Tikhonov-Miller 반복복원방법[8,9]

원 영상이 흐려지고 가산잡음에 의해 훼손되었을 경우 영상의 훼손모델은 다음과 같다.

$$g = H \cdot f + n \tag{1}$$

여기서 $g, f, n$은 각각 잡음이 섞인 훼손된 영상, 원영상, 가산잡음을 표현한다. $H$는 점 확산 함수이다.

잡음과 흐려짐이 동시에 발생하여 훼손된 영상의 복원에서는 잡음의 평활화와 윤곽의 복원이 서로 상반된 이중적 관계이다. 따라서 Tikhonov-Miller 정칙화 방법은 해의 집합으로부터 가장 적합한 복원해를 구하기 위한 기준을 정의한다. 복원해가 만족해야 하는 잡음 평활화 기준은 다음과 같다.

$$\Phi(\hat{f}) = \| g - H\hat{f} \| \le \| n \| = \varepsilon \tag{2}$$

여기서 $\hat{f}$ 는 복원된 해이고 $\varepsilon$은 잡음 상수이다. 윤곽의 복원 기준은 다음과 같이 정의한다.

$$\Omega(\hat{f}) = \| C\hat{f} \| \le E \tag{3}$$

$C$는 정칙화 연산자로서 고주파 통과 필터의 성질을 갖는 선형연산자로, 윤곽부분의 잡음증폭을 억제하는데 사용된다. 이때 $E$는 상수이다.

정칙화 해는 식(2)의 조건을 만족하는 상태에서 식(3)을 최소화함으로서 구할 수 있다. 즉

$$\Omega(\hat{f}) = \| g - H \cdot \hat{f} \|^2 + \alpha \| C \cdot \hat{f} \|^2 \le 2\varepsilon^2 \tag{4}$$

의 정칙화 기준을 만족하는 해를 구한다. 여기서 $\alpha$는 정칙화 변수로 상수이다.

복원해 $\hat{f}$에 대하여 식(4)의 정칙화 기준을 미분함으로써 정칙화 오차를 최소로 하는 복원해 $\hat{f}$를 구할 수 있다.

$$\hat{f} = (H^T H + \alpha C^T C)^{-1} H^T g \tag{5}$$

식(5)와 같은 비반복 Tikhonov-Miller정칙화의 경우에는 역행렬 $(H^T H + \alpha C^T C)^{-1}$ 이 악조건이거나 특이점을 가질 때 복원이 불가능하거나 많은 계산량이 필요하게 된다. 이 문제를 해결할 수 있는 방법으로서 반복 Tikhonov-Miller 복원 방법이 있다. Tikhonov-Miller 반복복원 방법을 구하기 위하여 식(5)를 연속치환(successive substitution) 방법을 적용하여 다시 정리하면 다음과 같은 Tikhonov-Miller 반복복원 방법을 얻을 수 있다.

$$\hat{f}_{k+1} = \hat{f}_k + \beta [H^T g - (H^T H + \alpha C^T C)\hat{f}_k] \tag{6}$$

여기서 $\beta$는 이완변수로 사용되는 상수로서 수렴속도를 조절하기 위해 사용하며, $0 \le \beta \le 2$의 범위 내에서 수렴조건을 만족한다[10].

## 3. 국부 훼손특성을 이용한 적응적 영상복원 방법

흐려짐 현상이 영상전체에 일률적으로 적용되지만 화소의 국부적인 특성에 따라 훼손되는 양이 각각 다르다. 그림 1은 가우시안 함수 5×5로 흐려진 "Lena"영상에서 분산값과 분산값에 따른 훼손오차의 평균값과의 관계를 나타낸 것이다. 즉 분산이 작은 평면영역에서는 훼손오차가 작게 나타나고 분산이 큰 윤곽영역에서는 훼손오차가 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 반복복원을 하는 경우에 영상전체에 일률적으로 가속변수를 적용하는 것보다 화소의 국부 훼손특성에 따라 적응성있는 가속변수를 적용하면 전체 수렴속도를 빠르게 하고 특히 시각적으로 중요한 윤곽영역의 수렴을 가속화시킴에 따라 윤곽부분의 해상도 증가를 가진다는 장점을 가져 기존의 방법보다 효율적인 복원이 이루어질 수 있다.
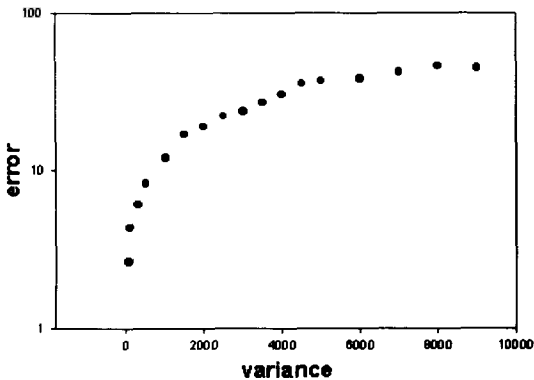
그림 1. 화소주변의 분산과 훼손오차와의 관계

본 논문에서는 화소 각각의 분산값을 구하여 화소의 국부 훼손특성에 맞게 적용되는 다음과 같은 적응성 가속변수를 제안한다.

$$\beta_k(i,j) = 2 \cdot \frac{\sigma^2_{f_k(i,j)}}{\sigma^2_T + \sigma^2_{f_k(i,j)}} \tag{7}$$

여기서 $\sigma^2_T$, $\sigma^2_{f_k(i,j)}$ 는 각각 문턱치 분산값, 국부화소 분산값 이다.

위 식에서 가속변수인 $\beta_k(i,j)$는 훼손오차가 작게 나타나는 $\sigma^2_T$의 분산값 보다 작은 영역에서는 0 에 근사하게되며, 훼손오차가 크게 나타나는 $\sigma^2_T$의 분산값 보다 큰 영역에서는 2에 근사하게 된다. 따라서 $\beta_k(i,j)$는 $\sigma^2_T$의 분산과 $\sigma^2_{f_k(i,j)}$의 분산에 따라 0~2사이의 값을 가진다. 위 식에서 우변의 2는 수렴속도를 가속화하고 수렴조건을 만족시키기 위하여 사용된다. $\sigma^2_T$는 훼손오차가 작게 나타나고 수렴이 아주 느린 평면영역을 판단하기 위하여 훼손영상에서 추출한 초기 잡음 분산값으로 정한다.

또한 위 (7)식을 흐려지고 잡음으로 훼손된 영상에 적용 할 경우 윤곽의 복원에는 효과적이나 잡음이 있는 평면의 경우 잡음증폭을 초래하기 때문에 본 논문에서는 평면영역에서의 잡음증폭을 억제하고 윤곽영역에서의 흐려짐을 방지하기 위하여 다음과 같은 적응 정칙화 변수[10]를 사용한다.

$$\alpha_k(i,j) = \frac{1}{1 + \dfrac{\sigma^2_{f_k(i,j)}}{\sigma^2_n}} \tag{8}$$

위 식에서 $\alpha_k(i,j)$는 복원된 영상의 분산값이 잡음의 분산값보다 큰 윤곽영역의 경우 $\alpha_k(i,j)$ 는 0 에 근사하게 되며, 복원된 영상의 분산값이 잡음의 분산값보다 작은 평면영역의 경우 $\alpha_k(i,j)$는 1에 근사하는 값을 갖게 된다. 또 잡음이 섞인 윤곽영역의 경우 복원영상의 국부 분산비와 잡음의 분산비에 따라 0~1 사이의 값을 가지며, 잡음과 복원영상의 국부 분산비가 일치할 경우 0.5의 값을 가지게 된다.

흐려지고 잡음으로 훼손된 영상을 복원하는 기존의 방법에서는 가속변수를 훼손영상에 관계없이 영상전체에 일률적으로 적용함으로서 영상의 국부 훼손특성을 고려하지 못하여 처리함으로써 수렴속도 면에서나 시각적으로 중요한 윤곽영역의 복원 면에서 효율적이지 못하였다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 식(6)의 기존의 반복복원 방법에 식(7)에서 제안한 적응성 가속변수와 식(8)의 적응 정칙화변수를 사용한다. 이 방법은 흐려짐에 의한 훼손오차가 작게 나타나는 평면 영역에서는 가속변수를 작게 하여 수렴율을 안정시키고 훼손오차가 큰 윤곽 영역에서는 가속변수를 크게 하여 수렴 속도를 가속화하여 수렴율을

증가시켜 전체적으로 수렴 속도를 빠르게 한다. 뿐만 아니라 이는 시각적으로 중요한 윤곽영역의 해상도를 증가시키고 평면 영역에서의 잡음증폭을 억제하는 효과적인 반복복원 방법이다.

## 4. 실험결과 및 분석

본 논문에서의 실험에 사용된 표준영상은 256×256 크기의 "Lena"영상과 "Camera man"영상이며, 사용된 PSF(point spread function)는 5 × 5의 가우시안 함수를 이용하였다. 흐려지고 가산잡음에 의한 훼손영상은 PSF에 의해 흐려진 영상에 20dB의 BSNR(Blurred SNR)을 갖는 의사 가우시안 백색잡음이 첨가된 영상이다. 이때 흐려진 영상의 신호 대 잡음비 BSNR은 다음과 같다.

$$BSNR = \frac{\textit{variance of the blurred image}}{\textit{variance of the additive noise}} = \frac{\sigma^2_{Hf}}{\sigma^2_n} \quad (9)$$

복원된 결과는 각 반복횟수에 따라 기존의 방법과 비교하였다. 화질의 평가척도는 객관적인 개선정도를 판단하기 위하여 MSE(Mean Square Error)를 사용하였다. 기존의 Tikhonov-Miller 정칙화에 사용된 두 개의 변수는 $\alpha=0.5$ , $\beta=1.0$으로 하였다.

그림 2는 BSNR 20dB로 훼손된 "Lena" 영상에 대한 분산값과 가속변수의 관계를 나타내며 화소의 국부 훼손특성에 따라 가속변수가 적응성 있게 변화함을 알 수 있었다. 또한 이 변화율은 2 절에서 제시한 $\beta$의 수렴조건을 만족함을 알 수 있었다.

그림 3은 "Lena" 영상에 대하여 기존의 방법을 이

그림 2. 분산에 따른 가속변수($\beta$) 변화율

(a) (b) (c) (d)

(e) (f) (g) (h)
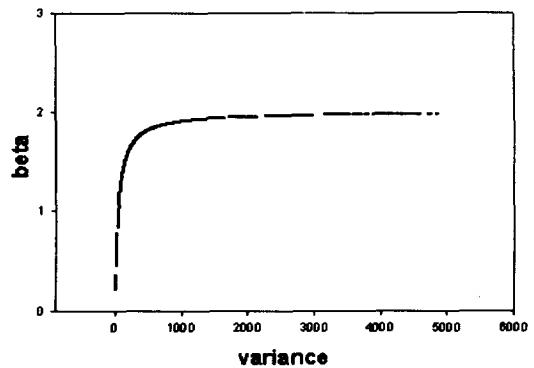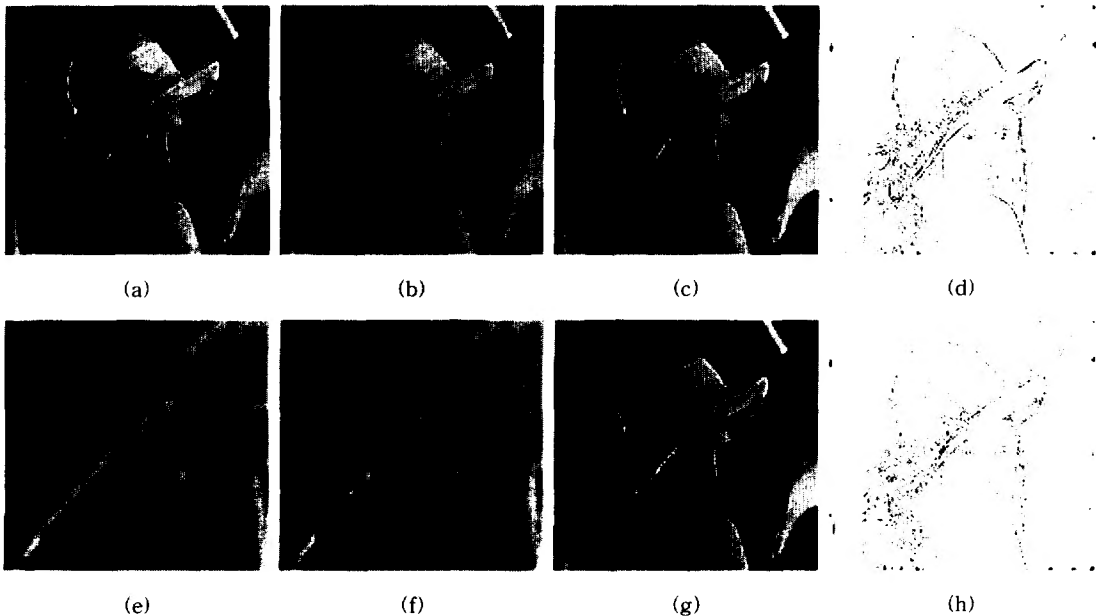
그림 3. "Lena" 영상에 대한 복원된 영상과 오차영상
(a) 원 영상, (b) (a)의 훼손된 영상, (c) 기존의 방법으로 20번째 반복에서 복원한 영상, (d) (c)의 에러영상, (e) (c)의 부분 확대 영상, (f) (g)의 부분 확대 영상, (g) 제안한 방법으로 20번째 반복에서 복원한 영상, (h) (g) 의 에러영상

용하여 복원한 결과와 제안한 적응성 가속변수를 이용한 복원방법의 결과 및 그에 대한 오차영상을 나타내었다. 그림(g)는 본 논문에서 제안한 방법으로 흐려짐에 의한 훼손오차가 큰 윤곽영역에서의 해상도가 증가되고 평면영역에서의 잡음증폭이 효과적으로 억제되어 기존의 방법보다 개선되었음을 보여 주고 있다. 그림(h)는 그림(g)의 오차영상으로 세밀한 머리카락과 모자의 윤곽부분, 오른쪽 배경의 윤곽부분이 개선되었고 배경쪽의 평면영역의 잡음이 많이 억제되었음을 알 수 있었다. 그림(e)는 기존의 방법인 그림(c)의 부분 확대영상이고 그림(f)는 제안한 방법인 그림(g)의 부분 확대영상으로 윤곽부분이 선명하게 개선됨을 알 수 있었다.

실험의 다양성을 위하여 그림 4에는 "Camera man" 영상에 대한 복원결과와 각각에 대한 오차영상을 나타내었다. 그림(g)는 제안한 방법으로 복원한 실험결과로서 기존의 방법과 비교해보면 윤곽부분인 "Camera man"외형, 카메라 부분과 다리 등이 개선되었고 배경부분인 평면영역에서의 잡음증폭이효과적으로 억제되었음을 알 수 있었다. 그림(h)는 그림 (g)의 결과에 대한 오차 영상이다. 그림(e)는 기존의 방법인 그림(c)의 부분 확대영상이고 그림(f)는 제안한 방법인 그림(g)의 부분 확대영상으로 윤곽부분의 해상도가 증가하고 평면영역에서의 잡음증폭이 많이 줄어들었음을 알 수 있었다.

그림 5는 "Lena"영상에 대한 기존의 방법과 제안한 방법과의 반복횟수에 따른 MSE 변화율을 나타낸 것이다. 각 반복 횟수 1, 10, 20 에서의 MSE를 비교해 보면 기존 방법의 MSE는 168, 136, 132 이었고 제안된 방법의 MSE는 158, 117, 115 이었다. 초기 MSE는 176 이었다. 그림 6는 "Camera man"영상에 대한 기존의 방법과 제안한 방법과의 반복횟수에 따른 MSE 변화율을 나타낸 것이다. 각 반복 횟수 1, 10, 20 에서의 MSE를 비교해보면 기존 방법의 MSE는 230, 182, 174 이었고 제안된 방법의 MSE는 214, 144, 136 이었다. 초기 MSE는 237 이었다. 그림(5)와 (6)에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 방법이 매 반복시 수렴속도가 빨라지고 MSE가 개선됨을 알 수 있었다. 기타 몇 가지 영상에 대하여 제안된 방법을 적용하여 본 결과 이상의 "Lena" 영상과 "Camera man" 영상에서와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 윤곽부분에
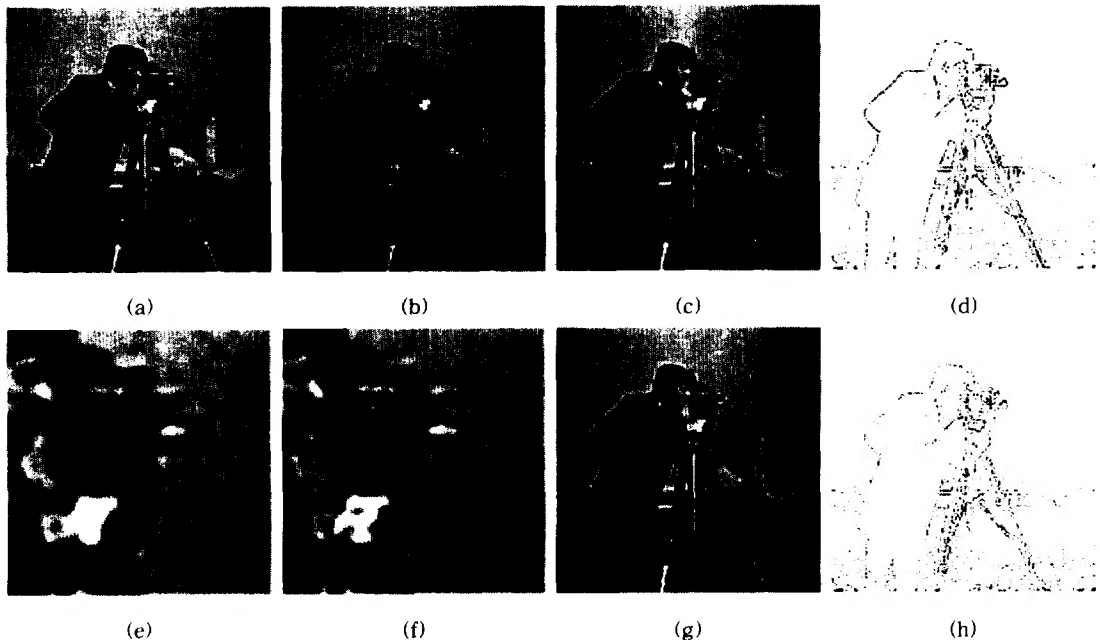
그림 4. "Camera man" 영상에 대한 복원된 영상과 오차영상
(a) 원 영상, (b) (a)의 훼손된 영상, (c) 기존의 방법으로 20번째 반복에서 복원한 영상, (d) (c)의 에러영상, (e) (c)의 부분 확대 영상, (f) (g)의 부분 확대 영상, (g) 제안한 방법으로 20번째 반복에서 복원한 영상, (h) (g)의 에러영상
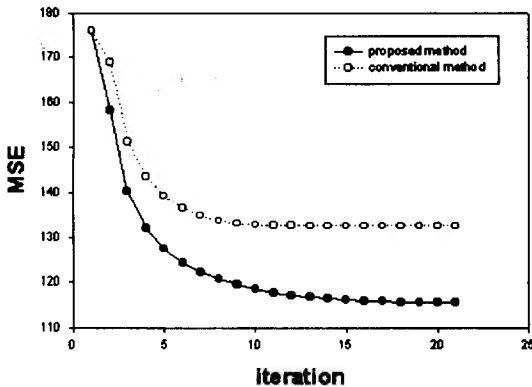
그림 5. "Lena" 영상의 MSE 변화율
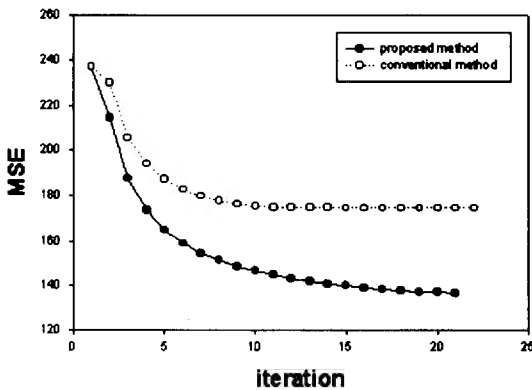
그림 6. "Camera man" 영상의 MSE 변화율

서 해상도를 증가시키고 평면영역에서의 잡음증폭을 억제할 뿐 아니라 수렴성에서도 개선효과가 있음을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

잡음에 의해 훼손되고 흐려진 영상을 반복 복원하는 방법은 가속변수를 훼손영상에 관계없이 영상전체에 일률적으로 적용하는 것이 일반적이었다. 따라서 훼손오차가 큰 윤곽부분에서의 수렴율도 훼손오차가 작은 평면영역과 같이 일정하게 처리되어 수렴속도가 느려지고 시각적으로 중요한 윤곽부분의 복원에도 효율적이지 못하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 흐려짐에 의한 훼손오차가 작은 평면영역은 가속변수를 작게 하고 훼손오차가 큰 윤곽영역은 가속변수를 크게 하여 영상의 국부 훼손특성에 따라 적응적으로 반복 복원하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 시각적으로 중요한 윤곽부분에서 해상도를 증가시켜 시각적인 효과가 개선되었을 뿐 아니라 평면영역에서의 잡음증폭을 효과적으로 억제함을 알 수 있었고 MSE값 비교에서도 수렴성이 기존의 방법보다 우수함을 알 수 있었다.

본 논문에서는 초점이 흐려짐에 의한 훼손영상을 복원하는 방법을 제시하였으나 향후 선형움직임에 의해 흐려진 훼손영상에도 확대 적용할 수 있는 연구가 필요하며, 잡음영상에서 윤곽영역과 평면영역을 판단하는 효율적인 방법을 이용하면 더 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

[1] H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice-Hall, 1978.

[2] R. W. Schafer, R. M. Mersereau, and M. A. Richards, "Constrained Iterative Restoration Algorithms," *Proc. IEEE*. vol. 69, no. 4, pp. 432-450, April 1981.

[3] H. Maitre, "Iterative Picture Restoration Using Video Optical Feedback," *Comput. Graphics and Image Process*, vol. 16, pp. 95-115, June 1981.

[4] Y. Ichioka, Y. Takudo, K. Matsuoka, and T. Suzuji, "Iterative Image Restoration by a method of Steepest-Descent," *J. Optic*, vol. 12. no. 1. pp. 35-41, 1981.

[5] S. Kawata and O. Nalcioglu, "Constrained Iterative Reconstruction by the Conjugate Gradient Method," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. MI -4, no. 2, pp. 65-71. June 1985.

[6] S. Kawata and Y. Ichioka, "Iterative Image Restoration for Linearly Degraded Images. I. Basis," *J. opt. Soc. Am.*, vol. 70, no. 7, pp. 762-768, July 1980.

[7] S. Kawata and Y. Ichioka, "Iterative Image Restoration for Linearly Degraded Images. II. Reblurring Procedure," *J. opt. Soc. Am.*, vol. 70, no. 7, pp. 768-772, July 1980.

[8] A. K. Katsaggelos, J. Biemond, R. W. Schafer,

and R. M. Mersereau, "A Regularized Iterative Image Restoration Algorithm," *IEEE Trans. Signal Processing,* vol. 39, no.4, pp. 914-929, April 1991.

[9] A. K. Katsaggelos, "Iterative Image Restoration Algorithms," *Opt. Eng. 28(7),* pp. 735-748, 1989.

[10] 李泰鴻 外, "弛緩パラメータを用いたボケ畫像の正則化反復復元," *日本 電子 情報通信學會誌 D-II,* vol. J79-D-II no. 11 pp. 1782-1789, Nov. 1996.

**김 태 선**

1985년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1991년 8월 한양대학교 산업대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1991년 8월~1995년 3월 LG전자 구미 TV 연구소 주임연구원
1999년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료
1995년 4월~현재 경북공업고등학교 전기전자제어과 교사
관심분야 : 영상복원, 신호처리

**이 태 홍**

1975年 2月 서울大學校 工業敎育學科 電子工學專攻 卒業
1976年 5月~1979年 10月 東洋精密(株) 中央硏究所 책임연구원
1980年 2月 서울大學校 大學院 工業敎育學科 電子工學專攻 卒業(碩士)
1980年 1月~1981年 2月 金星電氣(株) 技術硏究所 技佐
1981年 3月~현재 嶺南大學校 電氣電子工學部 敎授
1996年 10月~1997年 10月 韓國通信學會 大邱·慶北 支部長
1997年 2월 서울大學校 大學院 電子工學科 卒業(博士)
관심분야 : 신호처리, 영상처리